

OPONENTNÍ POSUDEK DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Josefa Cupala

„Influence of gain medium birefringence on temporal pulse contrast in high peak power laser amplifiers“

Předložená disertační práce Ing. Cupala Influence of gain medium birefringence on temporal pulse contrast in high peak power laser amplifiers se zabývá problematikou časového kontrastu ultrakrátkých pulsů v TW a PW laserových systémech. Autor zkoumá problematiku komplexně, od popisu ultrakrátkých pulsů přes metody měření kontrastu, způsobu vzniku pre- a post-pulsů ve velkých laserových systémech, vlivu anizotropních optických prostředí a polarizačně-optických komponent na vznik parazitních efektů spojených s kontrastem, modelování a predikce velikosti kontrastu až po teoretický rozbor a experimentální optimalizaci kontrastu PW titan-safírového laserového systému HAPLS, který je instalován v badatelském centru ELI-Beamlines. Měření kontrastu a jeho optimalizace je obecně velice široká úloha. Na kontrast lze pohlížet v oblasti pikosekund až stovek nanosekund, přičemž každá oblast má svá specifika. Původ pre- a post-pulsů či pedestalů je rovněž velmi rozličný, od nedostatečného kontrastu Pockelsových cel při selekci pulsů po vliv přirozené a indukované anizotropie po zesílenou spontánní emisi. Přístup k potlačení těchto jevů je proto rovněž odlišný a vyžaduje množství znalostí.

Aktuálnost práce

Téma předložené práce zůstává vysoce aktuální, jelikož s rotoucím špičkovým výkonem pulsních laserů a zejména s přibýjícím počtem TW a PW laserů ve vědeckých laboratořích je potřeba zvyšovat úroveň kontrastu. Už v současné době je přítom ve světě v provozu nebo ve výstavbě téměř sto laserů se špičkovým výkonem >100 TW. Praktická využitelnost těchto laserů je podmíněna vysokým kontrastem, protože nejpozději při intenzitě záření 10^{12} W/cm² dochází k ionizaci terče. Typicky musí tedy být při terčové intenzitě 10^{23} W/cm² kontrast podstatně lepší než 10^{-12} , aby byl potlačen negativní vliv prepulsů. Toho je v komplexních systémech často obtížné dosáhnout a autor se tohoto úkolu zhostil výborně.

Metody a forma zpracování disertační práce

Autor přistoupil k řešení tématu práce systematicky. V první části zkoumá obecně jevy, které přispívají ke zhoršení kontratu v laserových systémech, např. disperzi, přirozenou a indukovanou anizotropii, Kerrův jev, atd. Vzhledem ke specifickému zaměření autora a centra ELI-Beamlines je zbytek práce řešen s ohledem na titan-safírové lasery a PW systém HAPLS. Autor proto navrhl metodiku měření homogenity a lokální optické osy ve velkých krystalech titan-safíru, která rovněž přispívá mimo jiné ke zhoršení kontrastu pulsů. Na základě teoretického rozboru autor připravil numerický model systému HAPLS obsahující prvky, které přispívají k degradaci kontrastu. Model je ale obecně využitelný pro laserové systémy podobného typu. Předpovědi modelu byly využity a úspěšně experimentálně ověřeny na laserovém systému HAPLS. Ve finální kapitole autor kombinací teoretického modelu a měření kontrastu v jednotlivých částech systému systematicky odstraňuje jevy zhoršující kontrast a přispěl tím k výraznému zlepšení systému HAPLS, což je prokázáno nárůstem energie částic urychlovaných laserovým pulsem z 3 MeV na 24 MeV. Autor tak prokázal schopnost samostatného a systematického řešení složitých vědeckých úkolů.

Splnění stanoveného cíle a originalita řešení

Z výše uvedeného je bez jakýchkoli pochyb patrné, že autor prováděl systematický výzkum v oblasti zlepšování kontrastu PW laserů a vlivu anizotropních optických prostředí na něj. Nejde o zcela první práci analyzující vliv samofázové modulace, disperze a anizotropie na vznik pre- a post-pulsů, ale vzhledem k omezenému počtu podobných zařízení ve světě jde o unikátní teoretickou studii s experimentálním ověřením na PW laseru. U systému HAPLS jde navíc o vůbec první konstrukci titan-safírové laserové hlavice s paralelními deskami aktivního prostředí, která byla experimentálně demostrována a testována z hlediska kontrastu v sub-PW režimu. O unikátnosti vypovídá i publikovaný článek v časopise Applied Optics a publikované konferenční příspěvky. Jako nedostatek vnímám pouze jednu impaktovanou publikaci, kterou Ing. Cupal předložil jako první autor. Na dalších dvou experimentálních publikacích se podílel jako člen vědeckého týmu.

Výsledky doktorské práce a jejich význam pro praxi a rozvoj vědního oboru:

Autor byl součástí mezinárodního týmu a podílel se na vývoji unikátního PW titan safírového laseru HAPLS, který jako první využívá koncepci paralelních desek v laserové hlavici. V oblasti vývoje laserů, vč. analýzy vlivu rozladění těchto desek na kontrast pulsu lze shledat posun v oboru špičkových laserových technologií.

Forma práce

Předložená práce je v anglickém jazyce a čítá 118 stran včetně všech příloh. Práce je přiměřeného rozsahu a je rozdělena celkem do šesti kapitol. Mimo seznam referencí s 80 položkami obsahuje práce seznam obrázků a použitých zkratk. Práce je psána dobrou angličtinou s minimem gramatických chyb a bez překlepů, je přehledně formátovaná a velmi dobře se čte. Je škoda, že se autor nerozhodl připojit seznam použitých fyzikálních veličin. Takto jsem narazil na symbol, který je použit pro více různých veličin. Díky seznamu by toto autorovi neuniklo. Práce však splňuje všechny předepsané náležitosti po stránce formální i vědecké.

Doplňující otázky k práci

- 1) Ve výpočtech využíváte aproximaci lineárního čirpu. Jak zhorší předpovědi vašeho numerického modelu vyšší dispersní řády, které jsou v dispersních systémech vždy přítomny, nebo mohou vznikat např. samofázovou modulací?
- 2) Zabýval jste se v modelu i vlivem teploty aktivního prostředí, resp. dokážete zohlednit např. indukovanou anizotropii jednotlivých komponent a aktivních prostředí? Je váš model degradace kontrastu jednoduše upravitelný a využitelný i pro jiná aktivní prostředí, např. kvazi tříhladinová prostředí na bázi iontu ytterbia, kde je vliv teploty významnější?
- 3) Jakým způsobem byl využit vyvinutý model degradace kontrastu v anizotropních prostředích při vlastním návrhu laseru HAPLS, z práce to není zcela zřejmé. Pozdější optimalizace kontrastu probíhala spíše na experimentální bázi.
- 4) Analyzovali jste podrobněji svazky a pulsy laseru HAPLS vč. prostoročasných jevů (prostorový a úhlový čirp, atd.)? Máte potvrzeno, že zvýšení energie urychlovaných částic je pouze důsledkem zvýšení kontrastu?

Závěr

Předloženou disertační práci Ing. Josefa Cupala považuji za originální a aktuální. Autor pracoval ve špičkovém mezinárodním týmu a jeho vlastní výzkum, který je předmětem práce, byl proveden na vysoké odborné úrovni. To je podpořeno autorovou publikací se spoluautorstvím týmu z Lawrence Livermore National Laboratory i příspěvky na vědeckých konferencích.

Doporučuji proto práci přijmout k obhajobě a udělení vědeckého titulu Ph.D. Ing. Josefu Cupalovi v případě její úspěšné obhajoby.

V Praze dne 11.8.2022

Ing. Martin Smrž, Ph.D.
Hilase centrum, Fyzikální ústav AV ČR, v.v.i.